

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-020347

(43)Date of publication of application : 24.01.1995

(51)Int.Cl.

G02B 6/30

(21)Application number : 05-165448

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 05.07.1993

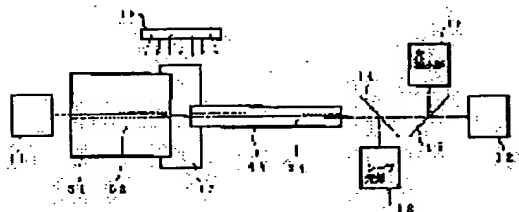
(72)Inventor : HATAKEYAMA IWA
SUGIYAMA YASUYUKI
MORINAKA AKIRA

(54) CONNECTING METHOD FOR OPTICAL WAVEGUIDE AND OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PURPOSE: To simplify fine optical axis alignment with the connecting method to be used for connection of an optical waveguide and an optical fiber.

CONSTITUTION: The optical waveguide 51 and optical fiber 53 to be connected are disposed to face each other and are fixed by nearly aligning their cores and forming a prescribed spacing. Phase conjugation mirrors 11, 12 are installed at both ends of the optical waveguide 51 and the optical fiber 53. Phase conjugated light is formed from the coherent light entering from one end thereof and is put into an oscillation state. A first photosetting resin injected into the spacing between the optical waveguide 51 and the optical fiber 53 is cured by the phase conjugated light made into the oscillation state, by which a coupled core part having the refractive index coinciding with the refractive index of the respective cores 52, 54 of the optical waveguide 51 and the optical fiber 53 is formed. Further, a second photosetting resin injected into the connecting part of the optical waveguide 51 and the optical fiber 53 is cured by UV rays cast from outside to form the coupled clad layer having the refractive index lower than the refractive index of the coupled core part around the coupled core part.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-20347

(43) 公開日 平成7年(1995)1月24日

(51) IntCl.⁹

G 0 2 B 6/30

識別記号

庁内整理番号

9317-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平5-165448

(22) 出願日 平成5年(1993)7月5日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 品山 蔵

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 杉山 泰之

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 森中 彰

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

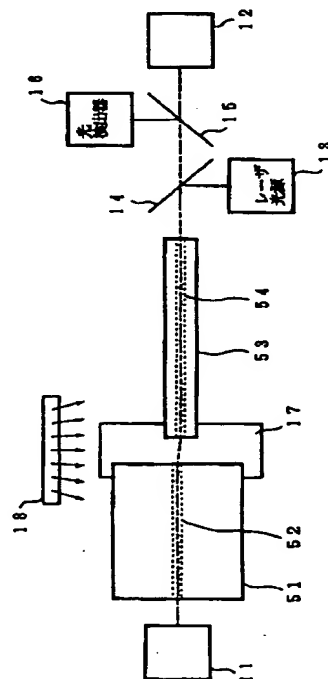
(54) 【発明の名称】 光導波路と光ファイバの接続方法

(57) 【要約】

【目的】 光導波路と光ファイバの接続に用いる接続方法に関し、微細な光軸合わせを簡便化することを目的とする。

【構成】 接続する光導波路と光ファイバを対向させ、そのコア同士をほぼ合わせかつ所定の間隙を設けて固定し、光導波路と光ファイバの両端に位相共役鏡を設置し、その一端から入射したコヒーレント光から位相共役光を生成して発振状態とし、発振状態となった位相共役光により、光導波路と光ファイバの間隙に注入された第1の光硬化型樹脂を硬化させ、光導波路と光ファイバの各コアの屈折率に一致した結合コア部を形成し、外部から照射される紫外線により、光導波路と光ファイバの接続部分に注入された第2の光硬化型樹脂を硬化させ、結合コア部の周りにその屈折率よりも低い屈折率を有する結合クラッド部を形成する。

本発明方法の適用に必要な装置構成例



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 接続する光導波路と光ファイバを対向させ、そのコア同士をほぼ合わせかつ所定の間隙を設けて固定し、

前記光導波路と光ファイバの両端に位相共役鏡を設置し、その一端から入射したコヒーレント光から位相共役光を生成して発振状態とし、

前記発振状態となった位相共役光により、前記光導波路と光ファイバの間隙に注入された第 1 の光硬化型樹脂を硬化させ、前記光導波路と光ファイバの各コアの屈折率に一致した結合コア部を形成し、

外部から照射される紫外線により、前記光導波路と光ファイバの接続部分に注入された第 2 の光硬化型樹脂を硬化させ、前記結合コア部の周りにその屈折率よりも低い屈折率を有する結合クラッド部を形成することを特徴とする光導波路と光ファイバの接続方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、

2 つの位相共役鏡の間の位相共役光の光強度を検出し、位相共役光が発振状態となったときに第 1 の光硬化型樹脂を光導波路と光ファイバの間隙に注入し、所定時間後に未硬化の第 1 の光硬化型樹脂を除去し、その後第 2 の光硬化型樹脂を注入して硬化させることを特徴とする光導波路と光ファイバの接続方法。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、

第 1 の光硬化型樹脂を光導波路と光ファイバの間隙に予め注入し、

2 つの位相共役鏡の間の位相共役光の光強度を検出し、位相共役光が発振状態となってから所定時間後に未硬化の第 1 の光硬化型樹脂を除去し、その後第 2 の光硬化型樹脂を注入して硬化させることを特徴とする光導波路と光ファイバの接続方法。

【請求項 4】 請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、

第 1 の光硬化型樹脂に、位相共役光に対して硬化感度を上げる光増感剤を添加したことを特徴とする光導波路と光ファイバの接続方法。

【請求項 5】 請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、

位相共役鏡として、強誘電体、常誘電体、フォトリフラクティブ単結晶材料、3 次の非線形感受率を有する光カー媒質の一つを用い、

コヒーレント光として、ガスレーザー光、半導体レーザー光、半導体励起 SHG 光の一つを用いたことを特徴とする光導波路と光ファイバの接続方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信装置、光情報処理装置、その他光配線を要する電子機器において、光導

波路と光ファイバの接続に用いる接続方法に関する。なお、本発明は、光導波路同士あるいは光ファイバ同士の接続にも適用することができる。

【0002】

【従来の技術】 従来、光導波路と光ファイバを接続するには、互いの光軸を合わせた後に接着や融着によって固定する方法がとられていた。ただし、接続すべきコアの径が小さいので、光軸合わせには微動台を含む大がかりな装置を用いる必要があった。それは、図 5 に示すように、接続しようとする光導波路 51 と光ファイバ 53 のいずれか一方（ここでは光ファイバ 53）を 3 次元の微動台 55 に固定し、他方（ここでは光導波路 51）との間で光の伝送損失を測定しながら損失が最小になる位置に光軸を合わせるものであった。符号 52 は光導波路 51 のコア部である。

【0003】 また、図 6 に示すように、予め光導波路 51 と光ファイバ 53 の光軸が合うように設計した勘合用穴 61、勘合用ピン 62 および V 溝 63 を有する治具 64、65 を用いる方法もある。しかし、この方法においても治具の設計製作段階における光軸合わせは必要であった。

【0004】 また、接着や融着のような固定接続とは異なり、接続するもの同士の光軸合わせが不要なコネクタを用いる方法もある。しかし、この方法においても、コネクタの治具を光導波路や光ファイバに取り付ける際には、その間の光軸合わせが必要になっていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このように、いずれの方法を用いる場合でも光軸合わせは不可欠であった。しかも接続損失を低減するためには、サブミクロンオーダーの精密な光軸合わせが必要になるので、接続のための装置が大がかりなものになり、また接続時間が長くなる問題点があった。なお、光軸合わせから接続までのプロセスを自動化した装置もあるが、高価であるので接続コストの上昇が避けられなかった。

【0006】 本発明は、微細な光軸合わせを簡便化することができる光導波路と光ファイバの接続方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 請求項 1 に記載の発明は、接続する光導波路と光ファイバを対向させ、そのコア同士をほぼ合わせかつ所定の間隙を設けて固定し、光導波路と光ファイバの両端に位相共役鏡を設置し、その一端から入射したコヒーレント光から位相共役光を生成して発振状態とし、発振状態となった位相共役光により、光導波路と光ファイバの間隙に注入された第 1 の光硬化型樹脂を硬化させ、光導波路と光ファイバの各コアの屈折率に一致した結合コア部を形成し、外部から照射される紫外線により、光導波路と光ファイバの接続部分に注入された第 2 の光硬化型樹脂を硬化させ、結合コア

部の周りにその屈折率よりも低い屈折率を有する結合クラッド部を形成する。

【0008】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、2つの位相共役鏡の間の位相共役光の光強度を検出し、位相共役光が発振状態となったときに第1の光硬化型樹脂を光導波路と光ファイバの間隙に注入し、所定時間後に未硬化の第1の光硬化型樹脂を除去し、その後に第2の光硬化型樹脂を注入して硬化させる。

【0009】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、第1の光硬化型樹脂を光導波路と光ファイバの間隙に予め注入し、2つの位相共役鏡の間の位相共役光の光強度を検出し、位相共役光が発振状態となってから所定時間後に未硬化の第1の光硬化型樹脂を除去し、その後に第2の光硬化型樹脂を注入して硬化させる。

【0010】請求項4に記載の発明は、請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、第1の光硬化型樹脂に、位相共役光に対して硬化感度を上げる光増感剤を添加する。

【0011】請求項5に記載の発明は、請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の光導波路と光ファイバの接続方法において、位相共役鏡として、強誘電体、常誘電体、フォトリフラクティブ単結晶材料、3次の非線形感受率を有する光カー媒質の一つを用い、コヒーレント光として、ガスレーザー光、半導体レーザー光、半導体励起SHG光の一つを用いる。

【0012】

【作用】ほぼ光軸を合わせた光導波路と光ファイバの両端に設けた位相共役鏡の働きにより、その一端から入射したコヒーレント光が位相共役光となり、さらに発振状態になる。このとき、光導波路と光ファイバのコア間には位相共役光の経路ができ、その間隙に注入された第1の光硬化型樹脂はその経路の部分だけ硬化して結合コア部が形成される。続いて、その周りで第2の光硬化型樹脂を硬化させて結合クラッド部を形成する。

【0013】このように、光導波路と光ファイバのコア間には、発振状態にある位相共役光の経路に沿って結合コア部が形成されるので、接続する光導波路と光ファイバのコア同士の位置合わせを大まかに行うだけで、精密な光軸合わせを行うことなく低損失接続を実現することができる。

【0014】第1の光硬化型樹脂は、位相共役光が発振状態となったときに光導波路と光ファイバの間隙に注入して硬化させる（請求項2）。このときの発振状態はきわめて安定であり、しかも光導波路と光ファイバのコア間は狭いので、第1の光硬化型樹脂を注入することによる発振状態の乱れは起こりにくい。

【0015】なお、接続部分では、第1の光硬化型樹脂が注入されるまではコア間の軸ずれや間隙に応じた特定

のモード数に限定される。しかし、光導波路および光ファイバのコアと同じ屈折率の結合コア部が形成された後は、通常の光導波路と同様に低次のモードも伝搬することができる。

【0016】また、光硬化型樹脂は、所定強度以上の光で硬化が始まる閾値特性があるので、光導波路と光ファイバの間隙に予め注入しておき（請求項3）、位相共役光が発振状態になって光強度が閾値を越えたときに速やかに硬化させるようにしてもよい。

【0017】また、第1の光硬化型樹脂に位相共役光に対して硬化感度を上げる光増感剤を添加することにより（請求項4）、結合コア部の形成を早めることができる。

【0018】

【実施例】図1は、本発明方法の実施に必要な装置構成例を示す。図において、接続する光導波路51のコア部52と、光ファイバ53のコア部54が、ほぼ対向しかつ所定の間隙を設けて固定され、その両端に位相共役鏡11、12が設置される。レーザー光源13は、光導波路51または光ファイバ53の一端から入射するコヒーレント光を発生する。本実施例では、そのコヒーレント光をハーフミラー14を介して光ファイバ53の一端に入射するが、光導波路51側から入射するようにしてもよい。光検出器16は、ハーフミラー15を介して位相共役鏡11、12の間の光の一部を取り込み、その光強度を測定する。受皿17は、光導波路51と光ファイバ53の接続部分に注入される光硬化型樹脂を入れる容器である。なお、硬化した状態で屈折率が異なる2種類の光硬化型樹脂が用いられる。紫外線ランプ18は、その一方の光硬化型樹脂を硬化させる紫外線を発生する。

【0019】このような構成により、レーザー光源13から出射されたコヒーレント光は、ハーフミラー14で反射して光ファイバ53のコア部54に導かれ、さらに光導波路51のコア部52に達する。その様子を図2(1)に示す。光ファイバ53から光導波路51に達する入射光21は球面波であり、等位相面22は球状に広がる。この入射光21は、光導波路51のコア部52を通過して位相共役鏡11に入射され、位相共役光として再び光導波路51のコア部52に戻り、さらに光ファイバ53のコア部54に達する。その様子を図2(2)に示す。この位相共役光23の位相は入射光21の位相と同じになるので、その等位相面24は進行方向に対してすばみ、入射光21と同じ経路を辿って光ファイバ53のコア部54に達する。

【0020】光ファイバ53のコア部54の他端から出射された光は、ハーフミラー14、15を通過して他方の位相共役鏡12に入射される。以下同様に、位相共役光が位相共役鏡11、12の間を往復し、所定の条件のもとで発振状態となる。

【0021】なお、本実施例の位相共役鏡11、12は

自己励起型であり、入射した光のみで位相共役光を作り出すタイプのものである。以下、自己励起型4光波混合による位相共役光の発生原理について、図3を参照して説明する。

【0022】位相共役鏡の中に入った入射光は、A点、B点で散乱し、その一部が角で反射してポンプ光としてA点に戻る。A点では、入射光がプローブ光およびポンプ光となって位相共役鏡の角で反射して戻ってきたポンプ光と作用し、プローブ光の位相共役光（反射光）が発生する。なお、図ではB点における散乱の様子を代表して示す。

【0023】ここで、位相共役鏡が結合係数と長さによって決まる特別の条件を満たすとき、ポンプ光のパワーが位相共役光に移動し、プローブ光（入射光）よりも位相共役光（反射光）が大きくなる発振状態となる。発振状態になると、現実には共振条件を満足するモードの強度が増幅されるが、それと共に条件を満足しないモードの光強度は引き込みによって小さくなる。すなわち、図2(1)に示すように当初広がっていた光強度が、図2(2)に示すように損失なく伝搬するモードだけに光強度が集中する。

【0024】なお、発振状態になったか否かは、両方の位相共役鏡11、12で位相共役光が発生し、その戻り光の光強度を光検出器16でモニタすることにより検出することができる。すなわち、戻り光の光強度が他のモードの引き込みを徐々に起こすことにより次第に大きくなり、飽和した時点をもって発振状態になったとみることができる。

【0025】この状態で、光導波路51と光ファイバ53の接続部に置いた受皿17に、その間隙を埋めるだけの量の光硬化型樹脂を流し込むと、発振状態になっている位相共役光の経路に沿って光硬化型樹脂の硬化が始まる。その結果、図4(1)に示すように、光導波路51のコア部52と光ファイバ53のコア部54を結合する結合コア部41が形成される。その後、未硬化の光硬化型樹脂を溶剤で洗い流す。また、あらかじめ受皿17に光硬化型樹脂を流し込んでおき、最初弱い光で位相共役光を発生させ、発振状態で光強度が上がったときに硬化させる方法をとっても同様である。

【0026】続いて、図4(2)に示すように、硬化時の屈折率が結合コア部41よりも低くなる光硬化型樹脂を受皿17に流し込み、紫外線ランプ18から照射される紫外線を用いて硬化させ、結合クラッド部42を結合コア部41の周りに形成する。

【0027】以上のプロセスで光導波路51と光ファイバ53の接続が完了する。この結果、接続する光導波路51と光ファイバ53について精密な光軸合わせは不要となり、コア同士の位置合わせを大まかに行うだけで低損失接続を実現することができる。

【0028】なお、以上示した光導波路51および光フ

ァイバ53は、多モードの条件を満たしており、接続部でのコアの軸ずれ、折れ曲がり、間隙等の不完全性にもかかわらず、伝搬するモードが必ず存在するものとしてゐる。すなわち、単一モード条件では、位相共役鏡の間で発振状態となっても光強度の引き込みが起こりようがなく、光硬化型樹脂を硬化させることができない。そこで、単一モード光ファイバや単一モード光導波路の接続を行う場合には、光の波長を単一モード条件での波長から短い方向に離して多モードにする必要がある。

【0029】以下、具体的な実施例を示す。光導波路51は、シリコン基板上にVAD法で作製したSiO₂系の多モード光導波路とし、その長さは5cm、コアは50μm角、伝送損失は0.8dBのものを用いた。光ファイバ53は、クラッド径125μm、コア径50μmの多モード光ファイバを用いた。これらの光導波路51と光ファイバ53を対向させ、コア52、54間の間隔200μm、軸ずれ20μmの状態にして固定した。コア間隔は顕微鏡で測定し、軸ずれは波長488nmのアルゴンレーザ光で測定した接続損失から推定した。

【0030】レーザ光源13には、波長488nmのアルゴンレーザを用いた。位相共役鏡11、12には、5mm立方のBaTiO₃の結晶を6面共に光学研磨して用い、自己励起で位相共役光が発生するように光軸に対する結晶の角度を調整した。また、位相共役鏡11、12と光導波路51および光ファイバ53との結合に20倍の対物レンズを用いた。また、2つの位相共役鏡11、12で自己励起する条件は、レーザ光がレンズに入射する前のビーム径が2.5mm、光強度が15mWであった。以上の条件において、光検出器16で測定する光強度が飽和状態になり、系全体が発振状態となったことが検出されるまでの時間は約3分であった。

【0031】この状態で、受皿17に光硬化型樹脂としてオプトフロンを流し込んだ。このオプトフロンは、硬化時の屈折率が光導波路51および光ファイバ53のコア52、54の屈折率になるように調合した。さらに、オプトフロンに可視光に吸収をもつ顔料を添加し、波長488nmのアルゴンレーザ光に対する硬化感度を上げると、オプトフロンを流し込んでから約3分間で結合コア部41が形成された。その後、オプトフロンの未硬化部分を溶剤で洗い流し、新たに硬化時の屈折率を若干低めに調合したオプトフロンを流し込み、紫外線を3分間照射して結合クラッド部42を形成した。

【0032】このようにして作製された接続部の接続損失について、波長830nmのレーザ光を用いて測定した。予め測定しておいた光導波路51と光ファイバ53の損失を除いた結果、接続部のみの損失は0.08dBであった。また、初期の軸ずれを20μmとして同様の測定を10回行った平均の接続損失は、0.09dBであった。従来法による光軸合わせを行っても0.1dB程度の接続損失があるので、本発明方法は従来法に劣らない接続損失が

達成されていることがわかった。

【0033】なお、本発明方法は、光導波路と光ファイバの接続に限らず、光導波路同士あるいは光ファイバ同士の接続にも適用することができる。さらに、マルチチャンネルの光導波路やアレイ状に光ファイバが並んだ光ファイバシートの接続にも適用することができる。

【0034】また、光導波路や光ファイバのクラッド部が薄い場合には、結合コア部を形成するためのコヒーレント光を必ずしもそのコアの端部から入射させる必要はなく、コア部と平行に並べた他の光導波路や光ファイバを介して分布結合によって入射させるようにしてもよい。

【0035】また、位相共役鏡 11、12 としては、BaTiO₃ の他に、SBN、KNbO₃、LiNbO₃、LiTaO₃、Ce 添加 SBN その他の強誘電体、BSO、BGO、BTO、KTN その他の常誘電体、InP、GaAs、GaP、CdTe、ZnS、ZnSe その他のフォトリフレクティブ単結晶材料、CS₂、CCl₄ その他の 3 次の非線形感受率を有する光カー媒質を用いることができる。また、それらの結晶や媒質の光学的配置についても、位相共役光を発生させるものであれば特別な規定はない。

【0036】また、レーザ光源 13 としては、短波長の方が多モードを励振する上では優れているが、アルゴンレーザの他に、ヘリウム／カドミウムレーザ、ヘリウム／ネオンレーザその他のガスレーザ、半導体レーザ、半導体励起 SHG を用いることができる。また、光導波路が多モードであれば、波長が赤外領域のレーザを用いることができるが、その場合の位相共役鏡はフォトリフレクティブ単結晶材料（半絶縁性半導体）が好ましい。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、位相共役鏡の発振による引き込み効果と光硬化型樹脂の硬化特性により、接続する光導波路と光ファイバのコア同士をほ

ぼ対向させるだけで、微細な光軸合わせをすることなく低損失接続を実現することができる。この結果、接続治具および接続作業の簡単化を図ることができ、作業性を大幅に向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明方法の実施に必要な装置構成例を示すブロック図。

【図 2】本発明方法の接続原理①を説明する図。

【図 3】自己励起型 4 光波混合による位相共役光の発生原理を説明する図。

【図 4】本発明方法の接続原理②を説明する図。

【図 5】従来の接続方法を説明する図。

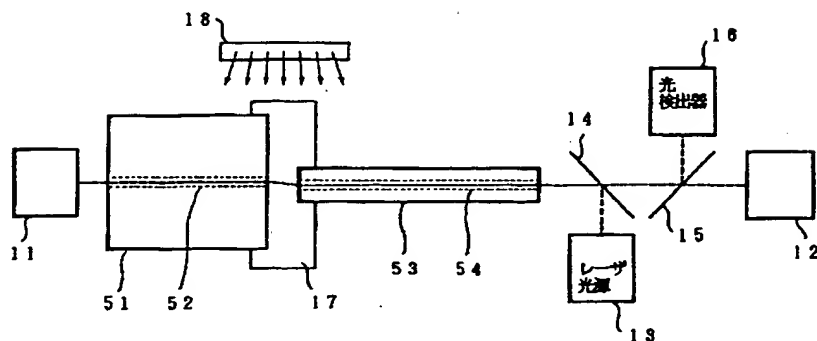
【図 6】従来の接続方法を説明する図。

【符号の説明】

- 11、12 位相共役鏡
- 13 レーザ光源
- 14、15 ハーフミラー
- 16 光検出器
- 17 受皿
- 18 紫外線ランプ
- 21 入射光
- 22、24 等位相面
- 23 位相共役光
- 41、結合コア部
- 42 結合クラッド部
- 51 光導波路
- 52 コア部
- 53 光ファイバ
- 54 コア部
- 55 微動台
- 61 勘合用穴
- 62 勘合用ピン
- 63 V溝
- 64、65 治具

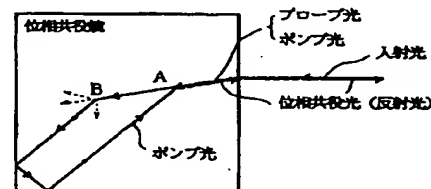
【図 1】

本発明方法の実施に必要な装置構成例



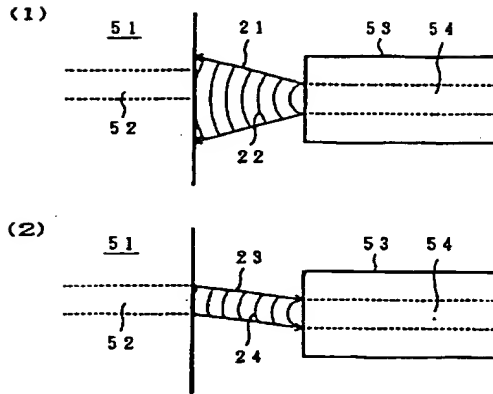
【図 3】

自己励起型 4 光波混合による位相共役光の発生原理



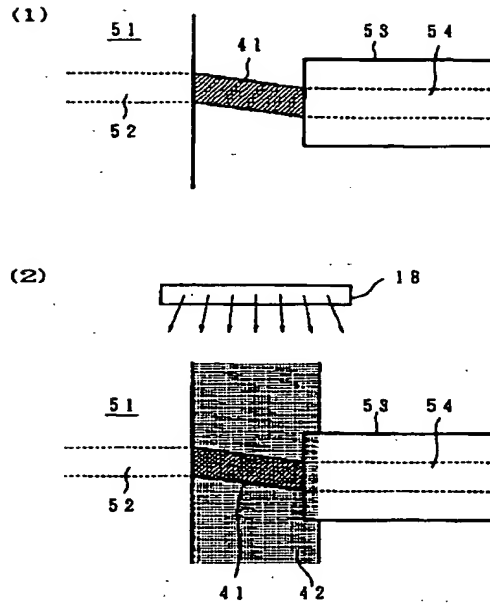
【図 2】

本発明方法による接続原理①



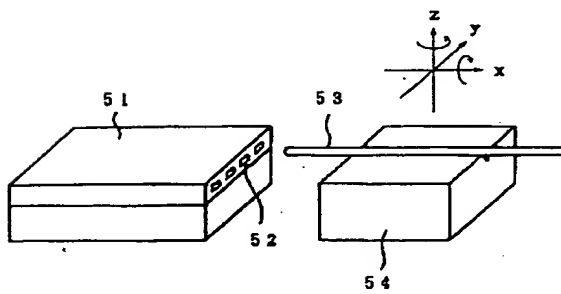
【図 4】

本発明方法による接続原理②



【図 5】

従来の接続方法



【図 6】

従来の接続方法

